

Novo orodno jeklo OA 2 v proizvodnem programu Železarni Ravne

Jože Rodič

UVOD

Kmalu bo preteklo desetletje od prvih predlogov raziskovalnega oddelka železarni Ravne, da bi proizvodni program orodnih jekel dopolnili z novim jeklom iz družine jekel legiranih na osnovi 5 % kroma in dodatkov molibdena. Težišče uporabnosti različnih variant te družine jekel z ogljikom v mejah od 0,2 % do 0,6 % je predvsem na področju orodnih jekel za delo v vročem stanju in vse bolj pomembnih visokotrdnih konstrukcijskih jekel, uporabljenih tudi na povišanih temperaturah. Razširitev te družine jekel s predstavniki z visoko vsebnostjo ogljika okrog 1 % je prinesla nova izredno kvalitetna orodna jekla za delo v hladnem stanju z odlično meroobstojsnostjo in odpornostjo proti obrabi ob istočasni dobri žilavosti.

Med jekli tega tipa z visoko vsebnostjo ogljika je prav gotovo najpomembnejše ameriško jeklo tipa A2, ki je v Združenih državah zelo razširjeno, vedno bolj popularno pa postaja tudi v Evropi.

Z izdelavo poizkusnih šarž v majhni indukcijski peči se je raziskovalni oddelček prepričal o lastnostih te vrste jekla, ki so sicer poznane predvsem iz ameriške literature.

V vseh teh letih od preizkusov »laboratorijsko« izdelanih šarž ni bilo mogoče vzbuditi na tržišču tolikšnega interesa za to jeklo, da bi bilo mogoče to jeklo preizkusiti v normalnih industrijskih pogojih.

V letu 1973 so se za razvoj na tem področju odprle nove možnosti. V železarni Ravne je začela redna proizvodnja v novi tovarni strojnih nožev in orodij z močno razširjenim proizvodnim programom. Pomemben delež izvoza v zahodno evropske države in v ZDA je dal nov zelo pomemben impuls razvoju modernega asortimenta orodij in novih vrst orodnih jekel.

Obenem z izgradnjo omenjene tovarne orodij v železarni Ravne je odprla povsem nove možnosti razvoja uvedba najmodernejšega jeklarskega postopka v novem obratu za električno pretaljevanje jekla pod žlindro. Samostojnost železarni Ravne pri oblikovanju nadaljnjega razvoja obenem s proizvodnjo ultračistih EP2 jekel s homogeno makro in mikrostrukturno odpira nove perspektive celotni potrošnji orodnih jekel v državi.

Rezultati se že jasno kažejo. Na osnovi doslej proizvedene količine jekla OA 2 za redno proizvodnjo, ki se bo v letu 1974 kmalu približala 100 tonam, lahko že trdimo, da smo to specialno orodno jeklo spoznali v tolikšni meri, da ga lahko predstavimo našim proizvajalcem orodij, kar je tudi namen te publikacije. Jeklo OA 2 je že v redni proizvodnji. Zanj lahko že normalno sprejemamo naročila in nudimo vse normalne kakovostne garancije.

STANDARDNE KARAKTERISTIKE IN OSNOVNI PODATKI ZA UPORABO JEKLA OA 2

Smerna kemijska sestava v %:

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1	0,3	0,6	5	1	0,25

Jože Rodič je diplomirani inženir metalurgije in vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave v železarni Ravne.

Primerjava s tujimi standardi:

Z R N e m č i j a		Z D A	
W. No. 17007	DIN 17006	AISI	tip
1.2363	X100CrMoV5.1	A 2	420

Tip jekla:

Jeklo OA 2 je plemenito visoko legirano Cr-Mo-V orodno jeklo za kaljenje na zraku na bazi 5 % Cr z visoko vsebnostjo ogljika, namenjeno predvsem za delo v hladnem stanju. Zanj je tipična odlična meroobstojsnost v kombinaciji z zelo dobro odpornostjo proti obrabi in dobro žilavostjo. Primerno je tudi za izdelavo orodij, ki se uporabljajo v vročem stanju. To jeklo zavzema pomembno mesto med visokotrdnimi konstrukcijskimi jekli.

Značilnosti in osnovne lastnosti

Jeklo OA 2 se odlikuje predvsem z naslednjimi lastnostmi:

- odlična odpornost proti obrabi,
- zelo dobra žilavost,
- dobra obdelovalnost v žarjenem stanju in dobra sposobnost za brušenje v toplotno obdelanem stanju,
- dobra sposobnost za poliranje,
- zelo pomembna lastnost predstavlja kaljivost na zraku in sploh velika sposobnost prekaljivosti,
- zelo dobra meroobstojsnost,
- dobra popustna obstojnost.

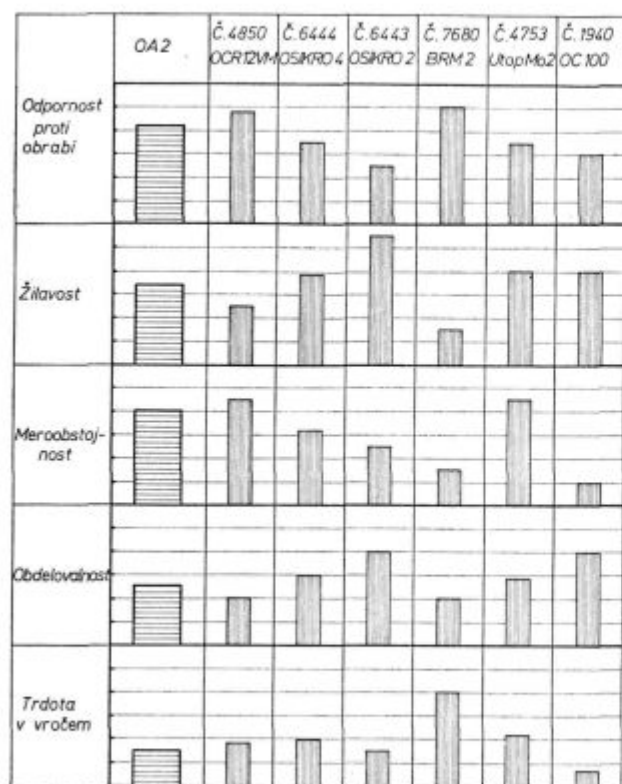
Jeklo OA 2 se izdeluje normalno po EP2 postopku (z električnim pretaljevanjem pod žlindro), zato ima zagotovljeno izredno čistost in homogenost makro in mikrostrukture ter minimalno vsebnost škodljivih elementov, predvsem žvepla.

Primerjava lastnosti

Če primerjamo glavne lastnosti jekla OA 2 z lastnostmi drugih vrst poznanih orodnih jekel (glej sliko 1), bomo prav lahko ugotovili, kdaj se bomo odločili za izbiro tega jekla.

Jeklo OA 2 ima npr. prednost pri izbiri pred ledeburitnim orodnim jeklom C.4850 (OCR 12 VM) takrat, kadar z žilavostjo jekla OCR 12 VM nismo povsem zadovoljni, lahko pa bi dopustili, da se odpornost orodja proti obrabi nekoliko zmanjša na račun znatno povečane žilavosti. Včasih je pri izbiri odločilno tudi dejstvo, da ima jeklo OA 2 boljšo sposobnost za mehansko obdelavo in brušenje kot vse vrste visoko kromovih ledeburitnih jekel.

Zanimiva je primerjava z jeklom utop Mo 2, ki ima enako legirno osnovo, pač pa znatno nižji ogljik (0,4 %) in višji vanadij (1 %). Predvsem zaradi boljše žilavosti ima jeklo utop Mo 2 kot visoko trdno konstrukcijsko jeklo prednosti, čeprav se v te namene tudi jeklo OA 2 s pridom uporablja. Višji vanadij omogoča jeklu utop Mo 2 relativno večjo popustno obstojnost, čeprav razlika v primerjavi z OA 2 razen pri najvišjih temperaturah popuščanja ni bistvena.



Slika 1

Primerjava lastnosti jekla OA 2 in drugih znanih vrst orodnih jekel

Področje uporabe

Področje uporabnosti tega jekla je zaradi naštetih značilnih lastnosti izredno široko.

Edinstvena kombinacija lastnosti dela to jeklo primerno predvsem tam, kjer se zahteva odlična odpornost proti obrabi in obenem čim boljše žilavost. Če temu prištejemo še kaljivostne lastnosti, zanesljivost pri kaljenju in meroobstojnost jekla, je pomen tega jekla za zahtevna orodja kompliciranih oblik jasen. Tudi popustna obstojnost je zelo ugodna.

Iz tega jekla se izdelujejo matrice kompliciranih oblik, gladilne matrice, oblikovalne matrice, vlečne matrice, najrazličnejši valji, trni in orodja za valjanje navojev in razna orodja v industriji plastičnih mas in umetnih snovi. Med rezilnimi orodji so najpomembnejši za uporabo tega jekla razni tipi strižnih rezil in orodij za štancanje.

Zaradi odlične meroobstojnosti se to jeklo široko uporablja za raznovrstna merilna orodja.

Tipizacija:

Jeklo OA 2 je novo in se na domačem tržišču šele uveljavlja, zato je seveda »netipizirano«. Glede na izkušnje v Združenih državah in v Zahodni Nemčiji pa mu lahko pripisujemo dobre perspektive pri uveljavljanju na širokem področju uporabe orodnih in visokotrčnih konstrukcijskih jekel.

Vroča predelava:

Normalno območje vroče predelave je 1050–850°C. Pri ogrevanju in zadrževanju na temperaturi pred vročo predelavo je treba upoštevati nagnjenost tega jekla k razogljčenju in podvzeti vse potrebne zaščitne mere.

Zaradi kaljivosti na zraku je občutljivost tega jekla pri ohlajanju po končani vroči predelavi razumljiva. Zelo nevarno je izpostavljanje preprihu in vlagi. Zagotoviti je treba dovolj počasno ohlajevanje v peči ali pa v primernih izolirajočih sredstvih.

Preoblikovalna sposobnost za plastično predelavo v vročem pri tem jeklu zaradi visokega ogljika in legirnega sestava ni najboljša. Ingoti izdelani po EPŽ postopku imajo precej boljšo sposobnost za plastično preoblikovanje v vročem, zato EPŽ izvedbi tudi glede predelave poleg vseh drugih prednosti pripisujemo velik pomen.

Za doseganje dobrih osnovnih lastnosti ima končna temperatura vroče predelave velik pomen in naj bo čim bližja spodnji temperaturi predpisanega območja, vendar ne nižja od 850°C. Po končani vroči predelavi je treba to jeklo čimprej žariti!

Mehko žarjenje:

Po vroči predelavi se priporoča pred mehkim žarjenjem normaliziranje, ki sicer ni obvezno, pač pa s prekrizalizacijo prispeva pomemben delež pri zagotavljanju homogene mikrostrukture in doseganju boljših lastnosti jekla z mehkim žarjenjem.

Ogrevanje mora biti tako pri normalizaciji kot pri žarjenju počasno, po možnosti stopenjsko.

Temperatura normalizacije za prekrizalizacijo je 900°C z zadrževanjem 1 uro na temperaturi.

Temperatura mehkega žarjenja je 830–870°C.

Čas držanja na temperaturi: ca. 2 uri.

Pri normalizaciji in pri žarjenju je treba ustrezno zagotoviti varovanje proti prekomernemu razogljčenju površine.

Hitrost ohlajanja po končanem zadrževanju na temperaturi mehkega žarjenja predvsem v območju 800–650°C ne sme presegati 20°C/h do temperature 650°C. Nadaljnje ohlajanje je lahko hitrejše.

Posebno priporočljivo je izotermno žarjenje, če so le za izvedbo postopka ustrezne možnosti.

Postopek izotermnega žarjenja zahteva:

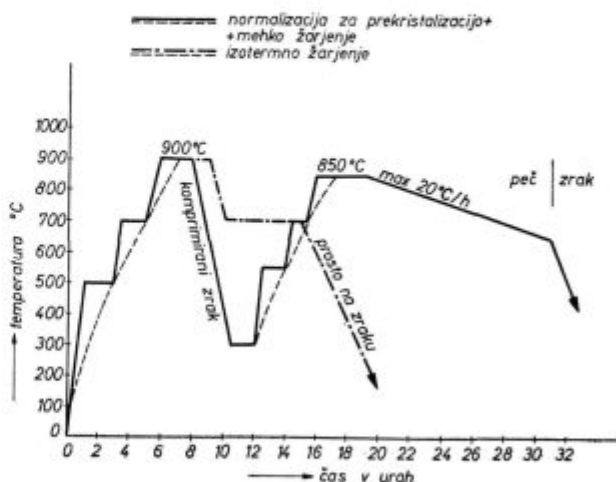
- zadrževanje ca. 2 uri na 900°C
- ohladitev na 700°C in
- zadrževanje 5–6 ur na temperaturi 700°C,
- ohlajevanje na zraku.

Kjer se lahko izvede izotermno žarjenje, ni potrebna normalizacija.

Slika 2 prikazuje opisane postopke.

Trdota:

Trdota jekla OA 2 v žarjenem stanju je običajno v območju 200–250 HB.



Slika 2

Postopek normalizacije in žarjenja za jeklo OA 2

Obdelovalnost:

V žarjenem stanju se to jeklo dobro obdeluje.

Žarjenje za odpravo napetosti:

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja v temperaturnem območju 600–700°C z zadrževanjem na temperaturi najmanj 1 uro. Pri večjih debelinah nad 25 mm se na vsakih 25 mm povečanja debeline čas držanja na temperaturi podaljša za 1 uro. Ohlajanje se izvaja počasi v peči do 500°C, dalje pa na mirnem zraku.

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja po grobi mehanski obdelavi. Nujno potrebno je pri vseh orodjih, ki se po toplotni obdelavi ne brusijo več, posebno če so preseki na raznih delih orodja zelo različni. Velik pomen ima to žarjenje pri orodjih, ki se pred končno toplotno obdelavo močneje ravna.

Pri žarjenju za odpravo napetosti ni potrebna posebna zaščita proti razogljčenju.

Kaljenje:

Normalno območje temperatur kaljenja je 930–980°C. S časom zadrževanja na kalilni temperaturi moramo tako kot pri ledeburitnih orodnih jeklih zagotoviti zadostno raztapljanje karbidov v avstenitu.

Za večino orodij je najboljša temperatura kaljenja 960°C.

Za orodja debeline do ca. 80 mm se kaljenje izvaja z ohlajanjem na mirnem zraku, ali pa v rahlem pišu suhega zraka. Za debelejša orodja je potrebno kaljenje v olju. Uporablja se tudi kaljenje v termalni kopeli na ca. 550°C za izenačitev temperature, na kar sledi ohladitev na zraku. Trdota po kaljenju je 62–65 HRC.

Pri ogrevanju na temperaturo avstenitizacije se zelo priporoča dobro predgrevanje v območju 700–800°C, ker se s tem doseže boljša enakomernost temperature po preseku na temperaturi kaljenja, kar v veliki meri zmanjša deformiranje orodij pri kaljenju. Na temperaturi predgrevanja zadržujemo orodje približno 1 uro za vsakih 25 mm debeline največjega preseka. Že na temperaturi predgrevanja je treba poskrbeti za ustrezno zaščito proti razogljčenju, še bolj pomembno pa je to pri nadaljnjem ogrevanju in zadrževanju na temperaturi kaljenja. Priporočljiva je varovalna atmosfera v peči z najmanj 10 % CO ali pa varovalno pakiranje orodij.

Pri kaljenju večjih kosov se priporoča izbira kalilne temperature bližje spodnji meji navedenega intervala, ker se s tem zmanjša količina zadržanega avstenita v jeklu po kaljenju. Ta je namreč v veliki meri odvisna od kalilne temperature in od časa držanja na kalilni temperaturi.

Za manjša ali tanjša orodja priporočajo ogrevanje na kalilno temperaturo v solni kopeli na bazi 70–90 % BaCl₂ in 30–10 % NaCl.

Trdota po kaljenju:

Orodja debeline do 50 mm dosežejo po kaljenju trdoto poprečno 63–64 HRC (tanjša orodja v posameznih primerih tudi precej večje trdote) in prekalijo praktično po celem preseku.

Orodja večjih debelin pa dosegajo že znatno nižje trdote in imajo med trdoto na površini in v sredini precejšnje razlike. Poglejmo nekaj primerov:

Kaljenje na zraku s temperature	Debelina probe		
	75 mm		100 mm
	Trdota površine	Trdota sredine	Trdota površine
970°C	64 HRC	61 HRC	61 HRC
950°C	62 HRC	59 HRC	59 HRC

Popuščanje:

Uporabno območje temperature popuščanja je 150 do 550°C. Največkrat popuščamo jeklo OA 2 na temperaturi 150–250°C. Orodja, ki so izpostavljena udarcem in vsa tista, od katerih zahtevamo večjo žilavost, popuščamo na 400–550°C.

Popuščanje se mora izvršiti takoj po kaljenju, še preden doseže jeklo sobno temperaturo. Najprimernejše je prenesti orodje na popuščanje, ko doseže po kaljenju temperaturo 50–60°C. Preden damo orodje v peč za popuščanje, se mora ohladiti vsaj toliko, da se ga lahko dotaknemo z roko. Pri višjih temperaturah popuščanja je priporočljivo dvakratno popuščanje, kar pa zadošča, če je pravilno izvedeno. Čas popuščanja na temperaturi naj bo ca. 1 uro za vsakih 25 mm debeline, vendar tudi pri najtanjših kosih nikoli manj kot 1 uro.

Jeklo OA 2 ima izražen efekt sekundarne trdote pri popuščanju, ki je tem močnejši, čim višja je temperatura kaljenja. Pri kaljenju v olju je efekt sekundarne trdote močnejši kot pri kaljenju na zraku.

Zaradi efekta sekundarne trdote lahko izberemo razmeroma visoke temperature popuščanja, ki pa imajo ob enaki trdoti prednost pred nižjimi temperaturami glede žilavosti jekla.

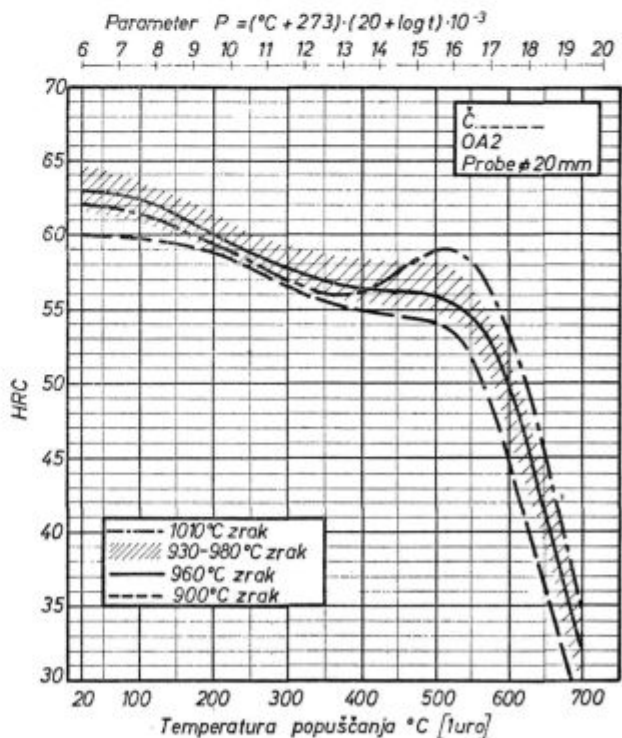
Diagram popuščanja prikazuje odvisnost trdote od temperature kaljenja in temperature popuščanja za kaljenje na zraku (sl. 3).

Delovne trdote orodij

Večina oblikovalnih, rezilnih in prebijalnih orodij ima delovno trdoto v mejah 60–63 HRC.

Orodja za valjanje navojev imajo večinoma nekoliko nižjo omejitev maksimalne dopustne trdote in se toplotno obdelujejo na 60–62 HRC.

Smerna kemijska sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %
	1	0,3	0,6	5	1	0,25



Slika 3

Diagram popuščanja za jeklo OA 2

Merilna orodja naj imajo maksimalno odpornost proti obrabi, medtem ko žilavost ni pomembna. Zato so delovne trdote največkrat v mejah 62–64 HRC. Za najpreciznejša merilna orodja lahko s posebno preiskavo ugotovimo optimalno kombinacijo temperature kaljenja in popuščanja glede meroobstočnosti.

Oblikovalni valji imajo trdoto v mejah 58–62 HRC. Pri nekaterih večjih orodjih za ravnanje in upogibanje zadošča delovna trdota 58–60 HRC.

Orodja za industrijo umetnih mas imajo običajno delovno trdoto 58–60 HRC.

Orodja namenjena za delo v vročem imajo največkrat delovno trdoto v mejah 52–55 HRC.

Nitriranje:

Jeklo OA 2 je v splošnem zelo primerno za nitriranje. Če ga nameravamo nitrirati po tenifer postopku, priporočamo kaljenje z višje temperature. Jeklo moramo namreč popuščati na temperaturo, ki je višja od temperature nitriranja ali vsaj njej enaka, pri tem pa ne želimo trdote preveč znižati.

Največkrat v takih primerih kalimo jeklo OA 2 s temperaturo 1040° C, kar si v večini primerov lahko privoščimo. Če uporabimo nitriranje, želimo vsekakor doseči predvsem maksimalno odpornost proti obrabi in lahko na račun zmanjšanja žilavosti zvišamo temperaturo kaljenja.

Če nameravamo jeklo plinsko nitrirati, ga popuščamo na ca. 540° C, če pa ga nameravamo nitrirati po tenifer postopku, ga popuščamo na ca. 570° C.

Pri plinskem nitriranju 15 ur na 520° C pričakujemo nitrirano trdo plast debeline ca. 0,12 mm. Jedro orodja ima pri tem trdoto 54–57 HRC, površina pa 900–1100 HV. Nitriranje v cianidni kopeli daje tanjšo nitrirano plast in bolj krhko kot nitriranje v plinu.

Podhlajevanje

Po normalni ohladitvi s kalilne temperature podhlajevanje do –50° C ali še nižje zagotavlja popolnejši razpad avstenita. Pri takem postopku se doseže trdota 66–68 HRC in povečanje dimenzij za 0,003 mm/mm. Sledeče popuščanje na 150° C daje trdoto okrog 65 HRC, na 200° C pa okrog 64 HRC. V nekaterih primerih uporabe je tak postopek, ki daje maksimalno trdoto orodja in minimalno vsebnost zadržanega avstenita zelo pomemben. Podhlajevanje po predhodnem popuščanju ima pri tem jeklu mnogo manjši učinek.

Podhladitev na –70° C omogoča minimalno vsebnost zadržanega avstenita, nižje podhladitve pa so glede praktičnega učinka neutemeljene.

Mehanske lastnosti

Pri kaljenju s temperature 940° C — t. j. na spodnji meji normalnega kalilnega intervala in popuščanju na 590° C pričakujemo normalno naslednje poprečne mehanske lastnosti:

- trdnost ca. 1600 N/mm²,
- meja plastičnosti ca. 1250 N/mm²,
- raztezek ca. 5 %,
- kontrakcija ca. 15 %.

Pri seriji primerjalnih preiskav⁶ jekla OA 2 klasične izdelave z EPZ jeklom smo ugotovili v primerjavi s temi podatki znatno večje trdnosti ob nekoliko manjši, a vendar zelo zadovoljivi kontrakciji. Naslednja tabela daje primerjavo teh rezultatov za probe Ø 8 mm z dolžino merilnega dela 40 mm.

Mehanske lastnosti jekla OA 2

(srednje vrednosti)

Žilavost je bila doslej še premalo preizkušena, zato lahko podamo samo nekaj podatkov za grobo orientacijo,

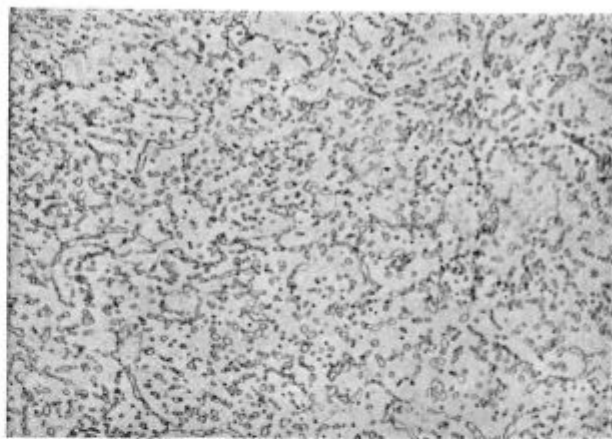
	Kaljenje 940° C zrak Popuščanje 540° C		Kaljenje 940° C zrak Popuščanje 590° C	
	Klasično	EPZ	Klasično	EPZ
Trdnost (N/mm ²)	2080	2160	1770	1810
Meja plastičnosti (N/mm ²)	1850	1950	1600	1680
Raztezek (%)	2,3	4,5	5,7	7,7
Kontrakcija (%)	2,5	9,8	6,0	23,3

ki se nanašajo na klasično izdelano jeklo OA 2. Za preizkušanje žilavosti so bile uporabljene probe, kakršne v železarni Ravne normalno uporabljamo za preizkušanje žilavosti orodnih jekel. To so probe 10 mm × 10 mm × 55 mm, ki imajo v sredini oslabitev za 1 mm s polmerom 10 mm.

Stanje prob	Poprečna žilavost (6 prob) J
Kaljeno	32,7
Popuščano 100° C	22,9
Popuščano 300° C	41,5
Popuščano 500° C	38,8

Metalografija jekla OA 2

Jeklo OA 2 izdelano po EPZ postopku doseže v žarjenem stanju zelo lepo homogeno sferoidizirano strukturo (slika 4), ki sestoji iz osnove nizkolegiranega ferita in razmeroma velike količine (okrog 15 utežnih odstotkov) karbidov, od katerih je približno ena polovica tipa M₂C₃ in druga polovica tipa M₂C₆.



Slika 4
Mikrostruktura žarjenega jekla OA 2 (povečava 500×)

Po kaljenju so v mikrostrukturi tega jekla martenzit, zadržani avstenit in karbidi. Med ogrevanjem na temperaturo avstenitizacije se kompleksni karbidi razmeroma počasi raztapljajo, dokler temperatura ne prekorači ca. 930° C. Na normalni temperaturi kaljenja (ca. 960° C) vsebuje avstenit večino ogljika, kroma, vanadija in molibdena v jeklu, vendar še vedno ostaja okrog 5 % karbidov neraztopljenih. Neraztopljeni karbidi so v glavnem tipa M₂C₃, nekaj pa je prisotnih tudi karbidov tipa M₂C₆.

METALOGRAFIJA V ZVEZI S TOPLOTNO OBDELO VO ORODIJ VELIKIH PRESEKOV¹ IZ JEKLA OA 2

Kadar je treba toplotno obdelati orodja večjih debelin nad 80–100 mm se prav lahko zgodi, da bo trdota nižja od zahtevane, če ne podvzamemo posebnih mer ob pazljivem delu. Obstajata predvsem dva možna vzroka za doseganje prenizke trdote.

Eden od obeh je dopuščanje prekomernega izločanja karbidov z razmeroma počasnim ohlajevanjem v temperaturnem območju od 980° C do 650° C.

Drugi vzrok pa je tvorba bainita ob istočasni možni stabilizaciji avstenita.

Če jeklo kalimo v olju s temperature 980° C, dobimo v mikrostrukturi samo martenzit z zadržanim avstenitom in neraztopljenimi karbidi (slika 5). Jeklo ima trdoto ca. 65 HRC.

Če jeklo ohlajamo s hitrostjo, kakršna ustreza ohlajanju debelejših palice ca. 150 mm $\varnothing$ na zraku do temperature 550° C in dalje v olju (slika 6), opazimo izločanje karbidov na mejah zrn in tudi nekaj močno jedkanih produktov visokotemperaturnih transformacij poleg martenzita, zadržanega avstenita in neraztopljenih karbidov. Kljub prisotnosti izločenih karbidov po mejah zrn in kljub majhni količini produktov visokotemperaturnih transformacij je trdota še vedno okrog 65 HRC.

Seveda, če pa jeklo ohlajamo na zraku od temperature kaljenja vse do sobne temperature s hitrostjo, ki ustreza

ohlajanju palice ca. 150 mm $\varnothing$, dobimo poleg sestavin strukture prikazane na sliki 6 še bainit in trdota je samo ca. 56 HRC. V takem primeru meritve na rentgenskem difraktometru pokažejo vsebnost zadržanega avstenita okrog 24 %, medtem ko je v enakem kosu jekla pri ohlajanju na zraku do 550° C in dalje v olju zadržanega avstenita samo okrog 13 %. Tako lahko nizko trdoto pri ohlajanju na zraku do sobne temperature pripisujemo prisotnosti bainita in večji količini zadržanega avstenita.

Če hočemo torej preprečiti prenizko trdoto pri kaljenju orodij velikih presekov iz jekla OA 2, moramo pospešiti ohlajevanje v temperaturnem območju bainitne premene med 400 in 200° C. Ta zahteva je izpolnjena lahko tudi pri termalnem kaljenju ali kaljenju v olju do temperature ca. 550° C ali nižje, čemur sledi ohlajevanje na zraku do sobne temperature. Hitra ohladitev do 550° C znatno skrajša čas ohlajevanja na zraku od 550° C do 250° C v primerjavi s časom, ki je za to potreben, če je bilo ohlajevanje od kalilne temperature do 550° C počasno. Seveda je boljše hitro ohlajevanje do temperature pod 550° C. V kolikor se jeklo počasi ohlaja od ca. 250° C do sobne temperature, so namreč deformacije in dimenzijske spremembe pri kaljenju minimalne.

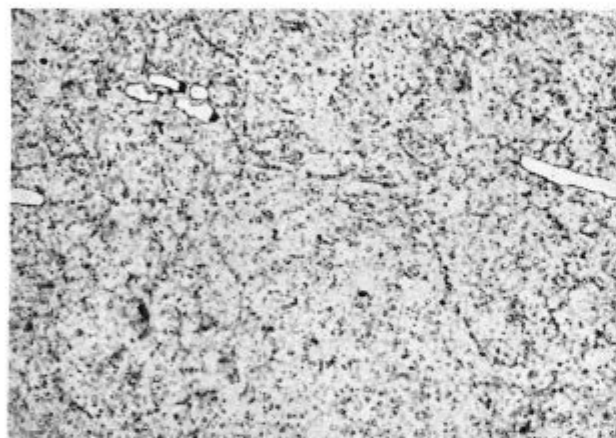
Normalno je v dobro kaljenem jeklu OA 2 okrog 10 do 15 % zadržanega avstenita.

Običajno popuščanje na 150–250° C skoraj nima vpliva na zadržani avstenit v jeklu. Zato je potrebno preprečiti nevarnost kakršnegakoli pregretja med avstenitizacijo pri kaljenju, ker ima pregretje za posledico znatno povečanje količine zadržanega avstenita.

Trdota orodij popuščanih na ca. 200° C je okrog 60 HRC, po popuščanju na ca. 300° C pa okrog 58 HRC. Pri popuščanju v območju med 300° C in 500° C se trdota zelo znatno znižuje, nekoliko nad 500° C pa začne hitro padati. To odpornost proti zmehčanju pripisujejo² zelo počasnemu naraščanju cementitnih zrn v 5 % Cr — popustnem martenzitu. Legirani karbidi tipa M₂C se izločajo v popustnem martenzitu šele, ko temperatura popuščanja preseže območje 500–550° C.

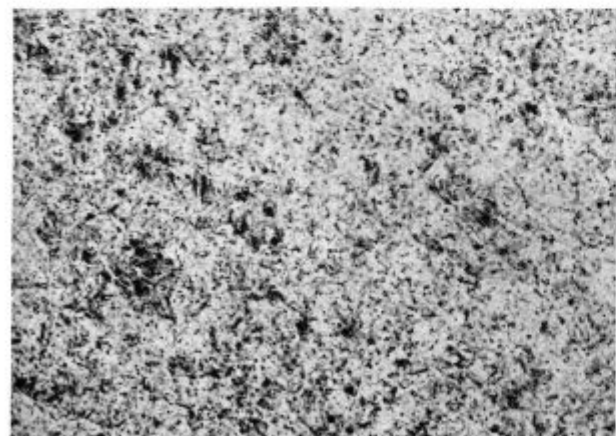
Normalna mikrostruktura jekla OA 2 po popuščanju ima naslednje komponente:

popustni martenzit, karbidi (neraztopljeni in izločeni), bainit (zaželeno čim manj) in zadržani avstenit, katerega količina naj bo čim manjša.



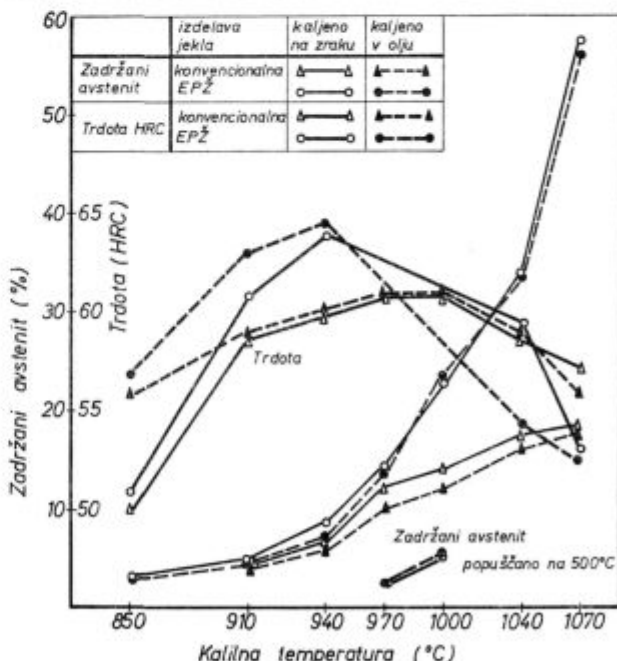
Slika 5

Mikrostruktura kaljenega jekla OA 2 (povečava 500 ×)



Slika 6

Primer mikrostrukture kaljenega jekla OA 2 večje debeline (povečava 500 ×)



Slika 7

Odvisnost vsebnosti zadržanega avstenita v jeklu OA 2 od kalilne temperature, ohlajevalne hitrosti in od načina izdelave jekla³

Posebne preiskave

V nadaljnjem podajamo za informacijo nekaj rezultatov in ugotovitev posebnih preiskav jekla OA 2, pri čemer pa poudarjamo, da planirane preiskave še niso zaključene in zato ti rezultati niso dokončni, ampak le informativni za grobo predstavbo o nekaterih zanimivih lastnostih tega jekla.

Vsebnost zadržanega avstenita¹³

S ploščicami dimenzij $5 \times 25 \times 50$ mm³ smo po različnih postopkih toplotne obdelave določali vsebnost zadržanega avstenita z rentgenskim difraktometrom. Rezultati teh meritev so prikazani na sliki 7, ki kaže že omenjeni vpliv temperature kaljenja na vsebnost zadržanega avstenita v tem jeklu.

Linearni temperaturni razteznostni koeficienti

Slika 8 prikazuje meritve linearnih razteznostnih koeficientov v temperaturnih območjih od sobne temperature do 700° C.

Premenske točke

	OA 2 — Železarna Ravne		Sagamore	A 2
	šarža 11230 klasična izdelava	šarža 01127 EPZ 2 t ingot — gredice	lit ³	lit ⁴
Ogrevanje	2,5° C/min	2,5° C/min	ca. 1° C/min	793
Ac začetek	768° C	770° C	793° C	
Ac konec	808° C	808° C	816° C	
Ohlajanje	2,5° C/min	2,5° C/min	ca. 0,5° C/min	
Ar začetek	745° C	738° C	768° C	
Ar konec	690° C	675° C	743° C	
Sestava	C %	0,97	0,91	1,00
	S %	0,012	0,007	—
	P %	0,029	—	—
	Si %	0,25	0,18	0,30
	Mn %	0,60	0,57	0,70
	Cr %	5,18	5,30	5,00
	Mo %	1,01	0,99	1,00
	V %	0,22	0,29	0,20
	Ni %	0,23	0,25	—
	Cu %	0,16	0,17	—

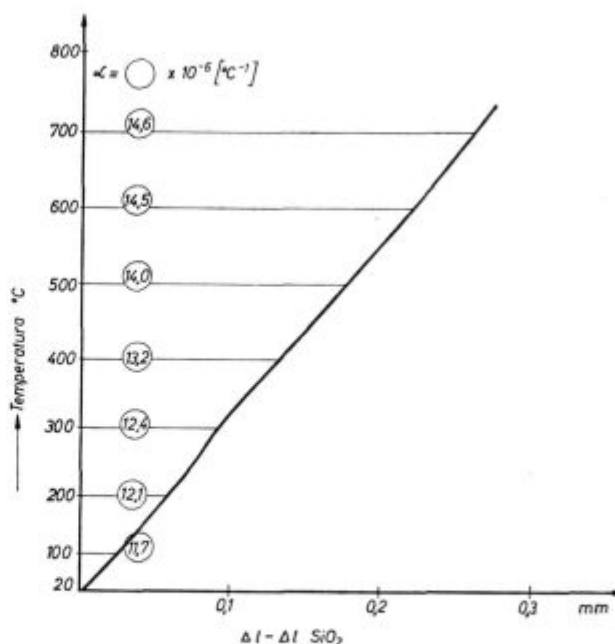
Dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi

Po metodi¹² dilatometrijskih meritev dimenzijskih sprememb zaradi strukturnih premen smo spremljali dilatacije v posameznih temperaturnih območjih in za posamezne karakteristične cikle toplotne obdelave.

Slika 9 prikazuje spremljanje dimenzijskih sprememb pri kaljenju.

Ogrevanje smo izvedli tako, da smo dilatometrijsko probico v kvarčni cevki vložili v peč na temperaturi avstenitizacije 940° C in jo po ogretju na to temperaturo avstenitizirali 15 minut. Sledilo je ohlajanje v dilatometrijski cevki z argonovo atmosfero brez zaščitne cevi na zraku. Jasno je izražena M_s točka, celotna relativna sprememba dimenzije glede na izhodno žarjeno stanje je znašala $+4,4 \cdot 10^{-4}$ mm/mm.

Slika 10 kaže take meritve za cikel kaljenja in popuščanja na 150° C — 1 uro, pri čemer smo izmerili končno spremembo $+5,2 \cdot 10^{-4}$ mm/mm.



Jeklo OA2, 01127 EPZ

Določanje LTRK

Hitrost segrevanja 2,5° C/min

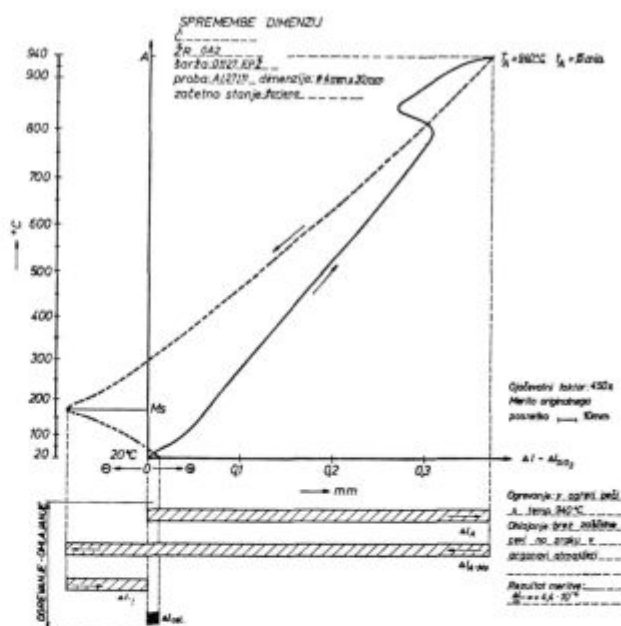
Ojačevalni faktor 450 x

Merilo originalnega

posnetka — 10mm

Slika 8

Linearni temperaturni razteznostni koeficienti jekla OA 2

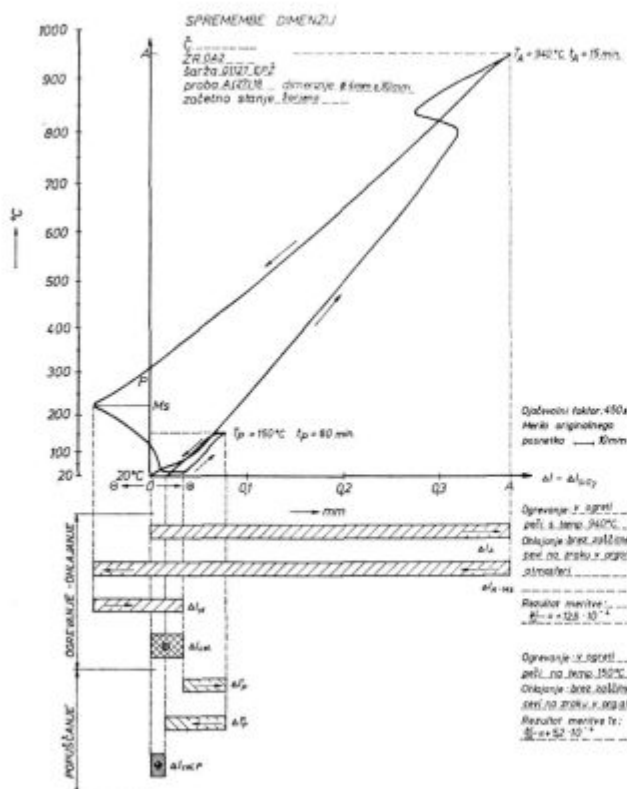


Slika 9

Dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi

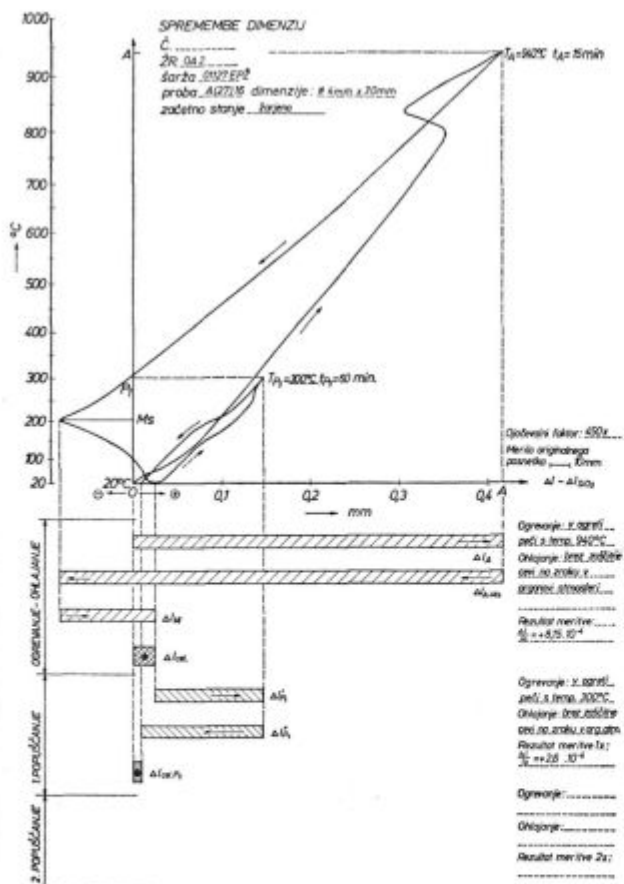
Slika 11 prikazuje potek dimenzijskih sprememb v ciklu kaljenja in popuščanja na 300° C — 1 uro. Po končanem ciklu je sprememba dimenzije $+2,66 \cdot 10^{-4}$ mm/mm.

Slika 12 pa prikazuje dimenzijske spremembe pri kaljenju 940° C in popuščanju na 450° C 1 uro. Po celotnem ciklu je bila celotna sprememba dimenzij enaka 0.



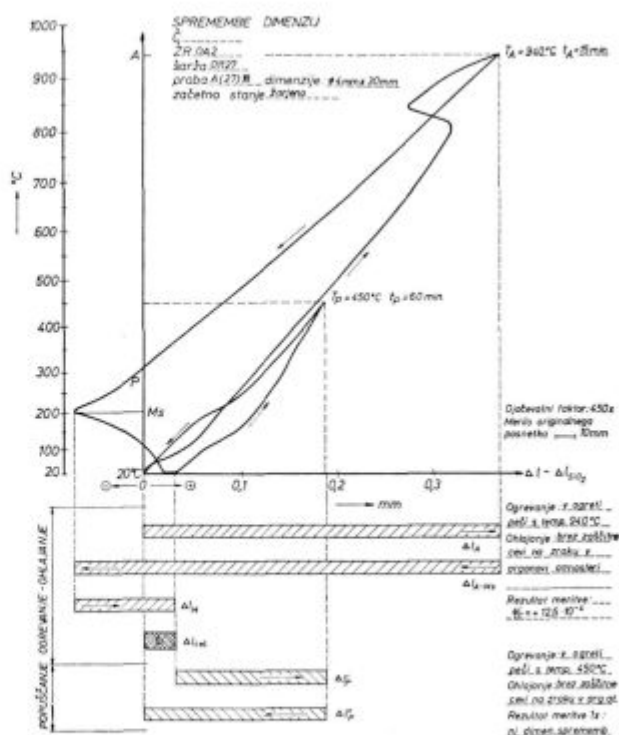
Slika 10

Dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi



Slika 11

Dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi



Slika 12

Dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi

V naslednji tabeli so podane meritve, katere smo izvedli za jeklo izdelano po klasični tehnologiji in analogne meritve za jeklo EP2 iz redne proizvodnje, kovano iz ingotov teže 2 t. Očitne so velike prednosti EP2 jekla.

Pregled meritev za jeklo OA 2	Relativne dimenzijske spremembe $\Delta l/l_0$ — žarjeno stanje	
	šarža 11230 klasična izdelava	šarža 01127 EP2 2 t
Kaljenje po postopku opisanem na slikah 9—12	$14,4 \cdot 10^{-4}$ $13,0 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
Popuščanje 150° C	$9,3 \cdot 10^{-4}$ $8,5 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Popuščanje 300° C	$7,4 \cdot 10^{-4}$	$2,66 \cdot 10^{-4}$ $0,74 \cdot 10^{-4}$
Popuščanje 450° C	$\emptyset$ $3,0 \cdot 10^{-4}$	$\emptyset$ $1,5 \cdot 10^{-4}$

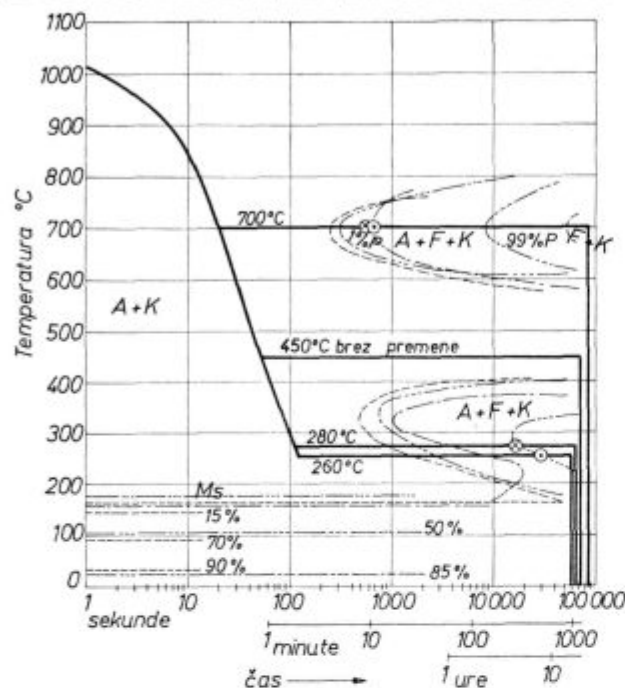
Podani rezultati raziskav še niso kompletni, ker so v toku še nadaljnje raziskave pri drugih pogojih avstenitizacije.

Primerjava izotermnih TTT diagramov

Slika 13 kaže primerjavo izotermnih TTT diagramov iz različnih literarnih virov^{1,2,3} z našimi poizkusi⁶.

Ugotovili smo, da se začetek premene v perlitni stopni in začetek martenzitne premene za naše jeklo OA2 dobro ujema s podatki iz literature, začetek premene v bainitni stopnji pa je pri našem jeklu glede na podatke iz literature pomaknjen v TTT diagramu precej bolj v desno k daljšim časom.

Jeklo	C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	Ac ₁ °C	Ac ₁ °C	Avsteniti- fokus	Legenda	Vr
A2	1,00	0,30	0,70	5,25	1,5	0,30	733°C		970°C	-----	lit 1)
A2/420	0,97	0,40	0,48	4,58	1,04	0,25			1010°C ^h	-----	lit 2)
C 550	1,00		0,60	5,2	1	0,20			980°C	-----	lit 5)
OA 2 01127EPZ	0,94	0,18	0,57	5,26	1,01	0,26	770°C	808°C	1010°C	Gradišnik premena	lit 6)
OA 2 R230	0,97	0,25	0,60	5,18	1,01	0,23	758°C	808°C	1010°C	Gradišnik premena	lit 6)



Slika 13

Primerjava izotermnih TTT diagramov jekla OA 2

ZAKLJUČKI

Namen te publikacije je bil, da podamo informacijo dosedanjih raziskav novega jekla OA 2, ki sicer še niso zaključene, dovoljujejo pa že presojo kakovostnih lastnosti tega jekla v zvezi s področji uporabnosti.

Podani so rezultati preiskav osnovnih lastnosti, katere pa bo treba dopolniti in povezati z informacijami o obnašanju tega jekla pri praktični uporabi.

Literatura:

1. Payson: The Metallurgy of tool steels — 1962 J. Wiley & Sons, New York, London.
2. Roberts — Hamaker — Johnson: Tool Steels — 1962 Metals Park.
3. Tool Steels Handbook — Allegheny Ludlum Steel Corporation, Pittsburgh, PA.
4. STEELECTOR — The Allegheny Ludlum Tool Steel.
5. Katalog Fagersta — Jeklo C 550.
6. Uranc F.: Osvajanje jekla OA 2, interna raziskovalna naloga Železarn Ravne 0-7302.
7. Uranc F.: Legirana orodna jekla za delo v hladnem, interna raziskovalna naloga Železarn Ravne Pub-6603.
8. Pšeničnik J.: Osvajanje jekla OCR 12 VM, interna raziskovalna naloga Železarn Ravne 0-7003.
9. Rodič A., J. Pšeničnik, J. Gradišnik: Lastnosti orodnih jekel za delo v vročem, izdelanih po različnih postopkih, interna raziskovalna naloga Železarn Ravne R-7306.
10. Rodič J., A. Šegel: Metoda določanja dimenzijskih sprememb, interna raziskovalna naloga Železarn Ravne 0-7003 in R-7221.
11. Pori R., A. Rodič: interna preiskava Železarn Ravne DK-87/1974.
12. Rodič J., A. Šegel: Metoda odredjivanja dimenzijskih promjena pri termički obradi zbog strukturnih preobražaja — Alatični čelici, pogl. II-8, izdanje Metalburo, Zagreb 1973.
13. Grešovnik F., F. Uranc: Določanje vsebnosti zadržanega avstenita v jeklu OA 2 z rentgenskim difraktometrom, interna raziskovalna naloga Železarn Ravne 0-7302.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Viktor Logar, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS — sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-231
int. 385 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj